

震后建筑垃圾的遥感估算方法

石建光¹ 邓华¹ 林树枝²

(1. 厦门大学土木工程系 361005 2 厦门市建设与管理局 361003)

摘 要: 地震后会产生大量的建筑垃圾, 如果能够对震区建筑垃圾的量进行科学合理的估计, 就可以为重建规划提供有利帮助。卫星遥感技术具有视域大、全天候等特性使其在灾情评估方面具有独特的优势。文章介绍了以卫星遥感数据为基准的估算地震后产生的建筑垃圾总量的方法, 并以四川汶川大地震为例采用此法估算了震后的建筑垃圾总量, 估算结果表明该法具有全面、准确和高效的特点。

关键词: 地震 建筑垃圾 估算方法 回归方程

中图分类号: TU522.09

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2009)04-0001-04

An Estimating Method on Building Waste amount after Earthquake

Jianguang Shi Den Hua

(Department of civil engineering Xiamen University 361005)

Abstract: A huge amount of building waste was left after earthquake. Rebuilding plan after earthquake could be more easily formulated if an accurate amount of building waste was available. The broad view of satellite remote sensing technology and its characteristics of all-weather make it has a unique advantage in disasters evaluation. In this paper, an estimating method based on satellite remote sensing technology is presented. By this method, the amount of building waste generated by Wenchuan earthquake is estimated successfully, which examines that the method is of comprehensive, accurate and efficient.

Keywords: earthquake building waste estimation method regression equation

1 引言

我国地震的活动频度高、震源浅、强度大、分布广, 是一个地震灾害严重的国家。据统计资料显示, 我国自从 1950 年以来有灾情的地震共发生近 500 次, 其中震级为 7.0~7.9 的地震 33 次^[1], 震级大于和等于 8 级的 4 次, 共死亡近 40 万人, 给我国造成大量的人员伤亡和经济损失。地震损失分析可以对地震造成的各项损失做出科学估计, 为政府和社会团体救灾提供指导, 达到防灾减灾目的。地震损失分析可分为震前损失预测和震后损失估计两类。对于震前损失预测, 多数地震损失估计的文献资料侧重于从统计学和概率论的角度预测未来地震灾害产生的人员伤亡以及经济损失, 比较成熟的有 1990 年国家地震局震害防御司提出的《中国地震灾害损失预测研究》^[2]。对于震后损失估计, 国内也有较多的文献涉及。震后损失估计的方法主要有: (1) 调查累计评估, 即对受灾体的损失逐项评估, 然后累加在一起; (2) 抽样调查统计评估, 即在不同受灾程度的地区, 进行抽样调查, 然后用统计学的方法进行计算; (3) 遥测遥感快速评估, 即利用现代遥测、遥感、地理信息系统、全球定位系统及计算机技术进行快速评估^[3]。总结当前的地震损失评估, 不论是震前预测还是震后估算, 评估的

侧重点是估算灾后经济损失和人员损失, 而对于计算灾后产生的建筑垃圾的量研究的文献极少。地震后建筑垃圾量的处理是一项非常艰巨的工作, 如果不进行合理的估计, 在重建工作中就无法科学合理地制定重建计划, 阻碍重建进度甚至影响灾区社会稳定。据资料显示, 唐山大地震后, 仅唐山市中心的建筑废墟就有近 2 千万立方米, 直到 1986 年才将这些废墟基本处理完全, 可见估计地震后建筑垃圾量的重要性。同时, 传统的震后估算办法往往因为需要进行现场调查而耗费大量的时间和人力, 且调查取样只能抽样调查, 无法全面查清受灾情况。基于这些方法的局限性, 本文探索利用卫星遥感技术所具有视域大、全天候等特性, 提出估算震后建筑垃圾的方法。并以今年发生的四川汶川大地震为例, 利用本方法估计本次造成大量的建筑物倒塌、许多生命线工程损毁的大地震带来数量庞大的建筑垃圾量。

2 地震后产生的建筑垃圾的组成

地震造成建筑物和交通设施等基础工程被毁。建筑物的废墟中包括各类生活用品、电器、报废汽车、建筑物构件倒塌损毁形成的建筑废物, 损毁的道路主要是混凝土等等, 这些都有可能进行循环利用。在本文中, 地震后产生的建筑垃圾是指建筑物及交通等工程设施倒塌或损毁后产生的混凝土块、废砖块、废钢筋及合金材料、废木材、废塑料、碎玻璃等, 组成成分类似于房屋拆毁后产生的建筑垃圾的成分^[4,5]。

3 地震后建筑垃圾总量的遥感估算过程

由于地震的破坏的瞬时性, 短时内造成大量的建筑倒塌, 因此估算地震后产生的建筑垃圾量的方法不同于在正常的生



作者简介: 石建光, 1962 年出生, 男, 教授, 主要从事混凝土及其结构性能研究。

收稿日期: 2008-10-22

产条件下对建筑垃圾产生量的估算办法^[5,6], 需要寻找其他途径。我国近十多年来, 卫星遥感技术被用于各种自然灾害调查评估得到了长足的发展, 遥感图像的分辨率已经从最初的 80m 发展到如今的 0.5m 甚至更小^[7]; 同时卫星遥感技术具有视域大的宏观特性, 可以显示地面面积达到 34225 km² 的实况; 以及它还能周期成像, 有利于动态监测和研究等多种优势, 使得近几年来卫星遥感在灾害的动态监测与指挥救灾和灾情评估中发挥越来越重要的作用。

在灾情评估过程中, 根据灾前、灾中、灾后卫星数据的融合, 并结合灾区社会经济数据库及社会调查, 可对灾情进行较为客观的评估。不仅可编制灾情等级分布图, 还可计算各等级灾情的面积和百分比, 为保险公司的理赔和民政部门的灾后救灾工作提供依据。本节以四川地震为例, 以国家减灾中心遥感部提供的遥感数据资料显示了本次地震的烈度分布情况和部分受灾地区(包括城镇和农村)的房屋倒塌率, 结合地震灾区的社会经济数据, 将这些数据为基础数据, 寻找回归关系进而估算出本次地震中所有受灾地区的房屋中倒塌率(Ca), 利用倒塌率估算出房屋倒塌面积(As), 最后根据建筑物每平米的垃圾产率得出本次地震产生的建筑垃圾总量, 并在本次估算模拟的基础上提出遥感估算震后建筑垃圾方法的模型。

3.1 四川地震介绍以及影响范围的划定

2008年5月12日14时28分, 四川省汶川县(经度 31.0 纬度 103.4)发生 8.0 级大地震, 这场特大地震致使大面积的建筑物倒塌和生命线工程损毁, 导致了特别重大的人员伤亡和经济损失, 重灾区面积超过 44 万 km²。大地震发生后不久, 国家减灾中心卫星遥感部很快就提供了部分震区图像和受损的数据。这些数据资料是通过应用包括“北京-1”小卫星在内的各种遥感技术获取、收集而得到的, 为抗震救灾的行动部署提供了基础依据和重要背景信息。图 1 就是由国家减灾中心遥感部提供的地震烈度分部图像, 结合《中国交通旅游图册》^[8]中四川省、甘肃省和陕西省的行政划分详图我们很快就能确定受灾范围和处于各烈度区的受灾县市。根据中国地震烈度表(1980)划分的烈度, 认为烈度在六度以上才会造成房屋破坏。这样根据图 1 及《中国交通旅游图册》, 以县(市)行政区域为单位, 我们就得到了处于六度以上烈度区的主要受灾县、市共 49 个, 具体分布如图 2 所示。

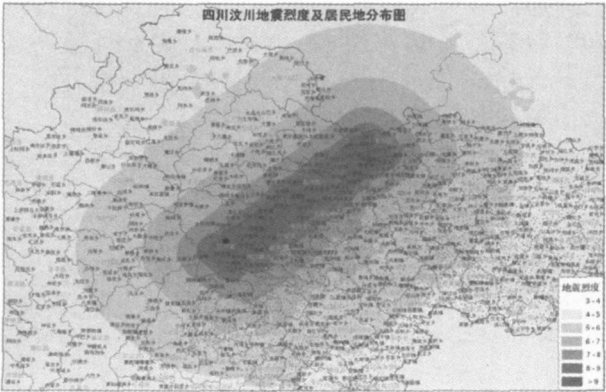


图 1 四川汶川大地震烈度分布图

3.2 地震后灾区建筑面积计算

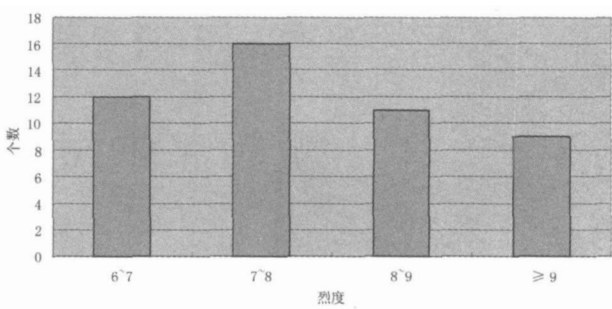


图 2 各烈度区受灾县市分布

在估算房屋倒塌量时, 我们需要知道地震前处在地震影响范围内的房屋情况, 如房屋的分类、各烈度区的建筑面积。国内关于地震损失分析的文献中, 对于房屋分类情况, 不同的作者给出了不同的分类方法, 主要分类方式有(1)按使用功能分; (2)将我国目前房屋分为四类: 老旧房屋(农村土坯房)、多层砖结构房屋、工业用房和钢筋混凝土楼房^[1]; (3)也有将房屋分为: 钢筋混凝土和砌体房屋为一类、工业厂房为一类、城镇平房和农村建筑为一类^[3]。这些分类方法的原则均是为了简化估算。鉴于此次估算以卫星遥感照片提供的房屋倒塌情况和各媒体刊登的地震区房屋结构照片为主要参考资料, 因此在估算中认为房屋均为混合结构, 且地震影响范围类的建筑面积按下式计算:

$$T_{si} = \zeta A_{si} \cdot P_{si} \tag{1}$$

式中, ζ 为烈度分区, 本文将烈度分为 4 个区; 各烈度区的第 i 个受灾区域; T_{si} 为 i 烈度区的总建筑面积; ζ 为考虑公用房屋建筑面积修正系数, 1.0—1.2^[3]; A_{si} 为 i 烈度区第 i 个受灾单位区域的人均居住面积; P_{si} 为 i 烈度区第 i 个受灾单位区域的人口数。

以《四川年鉴》(2007)^[9]提供的人均居住面积和人口统计数据为准, 利用式(1)就可估算处于不同烈度区的各个受灾县市的建筑面积。

3.3 地震影响范围内房屋倒塌率计算

国家防灾减灾中心在对卫星遥感图片分析后得出了部分受灾县市的房屋倒塌率^[10], 目前, 尚有许多受灾县市的房屋倒塌率未知。从本次地震各地区的房屋倒塌情况来看, 重灾的北川县老城区的倒塌率(80% 以上)是新城区倒塌率的两倍; 都江堰倒塌率约在 15% 左右, 其中东北部蒲阳镇房屋倒塌较为严重, 倒房率约 30% 以上, 中心老城区倒房率也相对较大, 约 20% 以上, 东部沿江新建城区倒房较少; 经济发达程度好城市的倒塌率比较落后的普遍要低一些; 村镇的倒房率明显高于城市, 许多村镇的倒房率达到了 80% 以上等等。就目前地震造成倒塌的实际情况的成因, 我们分析其原因是经济发展程度低的地区, 建筑生产力低, 材料质量低, 施工质量差, 抗震设防也不到位, 并且城市建设速度慢, 使得老旧房屋居多, 而这类房屋由于没有抗震设防或者抗震承载力相对低, 导致地震时倒塌率高。分析认为在同一烈度区的房屋倒塌率与各地经济发展水平应该有较好的对应关系。而定量的一个城市或地区的经济发展水平的一个最重要参考指标是人均 GDP, 所以房屋倒塌率与人均 GDP 应该有较好的对应关系。

以本次地震中处于九度及九度以上以上区的 8 个已知倒

塌率的受灾城市为例, 收集统计数据资料整理后如下表 1 所示^[10]。由于我们估算的对象是以县(市)为单位, 它包括城区和其下辖的村镇。而国家空间技术减灾中心根据遥感图片提供的倒塌率分别是城区部分和村镇区的倒塌率, 在估算中以每个受灾城市为单位(包括下辖农村)的平均倒塌率作为该地区的房屋倒塌率。

平均倒塌率的计算公式如下:

$$C_a = (C_{1a} \times \alpha_1 + C_{2a} \times \alpha_2) \tag{2}$$

上式中: C_{1a} 为城市区倒塌率(已知); C_{2a} 为村镇房屋倒塌率(已知); α_1 为该城市人口占总人口的百分比, α_2 为该城市行政区域内农村人口占总人口的百分比。

表 1 烈度为九度及以上受灾城市资料 (* 表示震中)

城市	总人口	农业人口	人均 GDP X(元)	城市区倒 塌率 C_{1a}	周边村镇 倒塌率 C_{2a}	平均倒塌 率 C_a
青川	24 80	21 26	5557	0 50	0 80	0 75
* 北川	16 05	13 94	8201	0 80	0 90	0 80
平武	18 7	16 28	8735	0 50	0 80	0 76
茂县	10 93	9 08	9268	0 50	0 70	0 66
安县	51 02	43 34	9943	0 60	0 70	0 69
理县	4 51	2 2	14037	0 20	0 60	0 40
都江堰	60 90	43 79	19083	0 15	0 30	0 26
* 汶川	10 54	6 74	27298	0 40	0 70	0 59

下图 3 是表 1 中的各城市人均 GDP 和平均倒塌率的折线图, 从图中我们能看出随着 X—人均 GDP(系列一)的上升, C_a —平均倒塌率(系列 2)有下降的趋势。应该指出的是: 下图中的北川和汶川是一个例外, 因为它处在本次地震震中位置, 烈度达到十一度, 地震给这两个城市造成的破坏是毁灭性的, 但单就这两个县城比较, 因为汶川的经济发展水平远优于北川, 从而平均倒塌率也相对低很多。

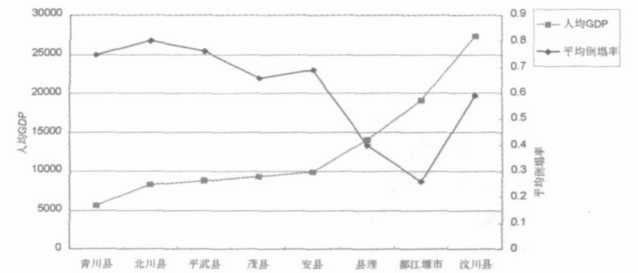


图 3 各城市人均 GDP 和平均倒塌率的折线图

采用表 1 中的人均 GDP 和平均倒塌率 C_a 数据进行回归分析, 鉴于汶川和北川位置的特殊性, 回归过程将其排除在外。进行回归后得到平均倒塌率 C_a 与人均 GDP 关系的回归方程为:

$$C_a = -4 \text{ E-} 05 X + 1.0495$$

如图 4 所示, 回归判定系数 R 的平方达到 0.9189 说明平均倒塌率 C_a 和人均 GDP 存在较好的回归关系。

类似地, 要推测各个烈度区未知地区的房屋倒塌率, 也可以通过对已知的县市倒塌率和人均 GDP 回归得到二者关系, 利用已知的人均 GDP 带入该关系得到。在通过各种渠道收集到的已知信息的基础上, 我们用回归的方法得到, 如图 5 所示:

8~9 度区倒塌率—人均 GDP 回归方程为:

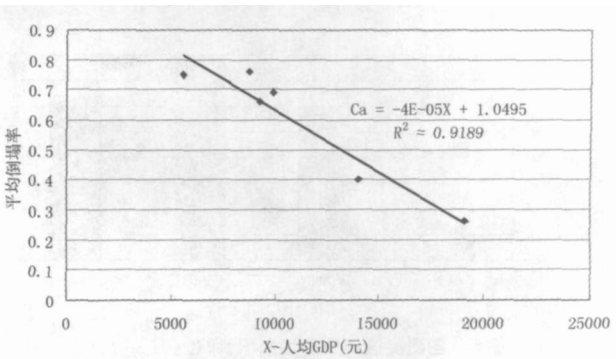


图 4 烈度大于等于九度区平均倒塌率与人均 GDP 关系

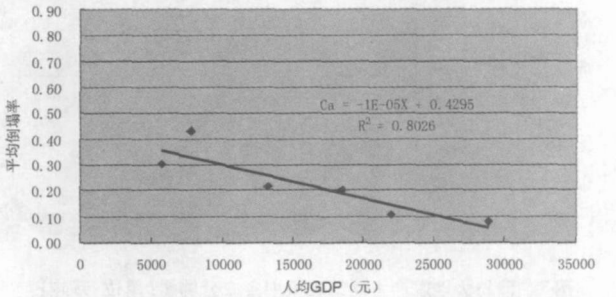
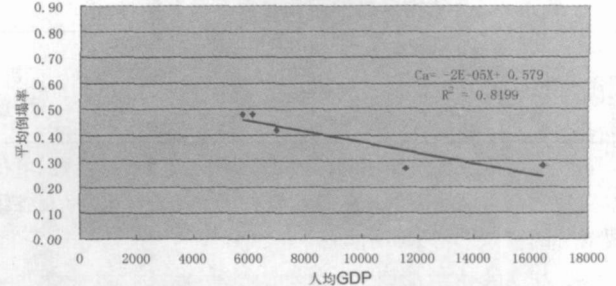


图 5 8~9 度和 7~8 度烈度区人均 GDP 平均倒塌率回归关系

$$C_a = -2 \text{ E-} 05 X + 0.579 (R^2 = 0.819)$$

7~8 度区倒塌率—人均 GDP 回归方程为:

$$C_a = -1 \text{ E-} 05 X + 0.4295 (R^2 = 0.8026)$$

由于缺少 6~7 度区的震害遥感资料在该烈度区也按 7~8 度区的回归关系。基于以上得到的各烈度区平均倒塌率 C_a —人均 GDP 的回归方程式和震前各个受灾县市的人均 GDP 的值(可查统计年鉴资料得到) 将后者其代入倒塌率 C_a —人均 GDP 的回归方程式, 便可以得出各烈度区内的所有受灾县市的房屋倒塌率 C_{af} 。

3.4 地震灾区范围内建筑垃圾量的估算

由 3.2 和 3.3 得到的各烈度区的各受灾县市的建筑面积 T_i 和对应的房屋倒塌率 C_{af} 相乘可得此次地震各烈度区的房屋倒塌面积:

$$A_s = \sum_i^n T_{si} \times C_{af_i} \tag{2}$$

式中: s 为烈度分区, i 为第 s 烈度区的第 i 个受灾单位; C_{af_i} 为第 s 烈度区的第 i 个受灾单位的房屋倒塌率(由人均 GDP 值代入回归方程得到)。根据式(2)计算的倒塌面积如图 6 所示。

将图 6 中各烈度区倒塌面积累加, 得到总的倒塌建筑面积 T 为 21201.18 万 m^2 。假设房屋以混合结构考虑, 根据文献[5]中混合结构房屋的各组分的垃圾产率系数, 取平均值如下

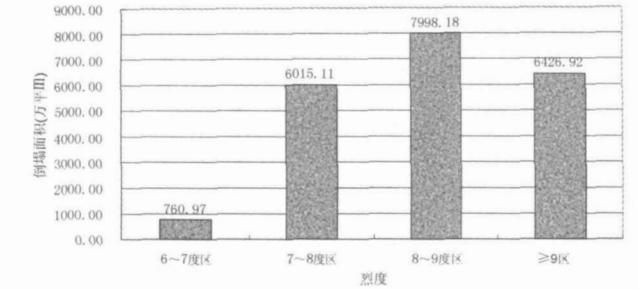


图 6 各烈度区房屋倒塌面积 (单位: 万 m²)

表 2 所示。

表 3 混合结构房屋的平均垃圾产率系数 (kg/m²)

	废钢	废混凝土	废砖	废玻璃	可燃废料	总计
混合结构平均垃圾产率	16.1	878.9	334	1.9	26.3	1257.2
所占比例	1.3%	69.9%	26.6%	0.2%	2%	100%

则将总倒塌建筑面积乘以表 3 中平均垃圾产率系数, 可得本次地震产生由房屋倒塌建筑垃圾总量为 26654.12 万 t, 各组要成分的量如下图 7 所示。

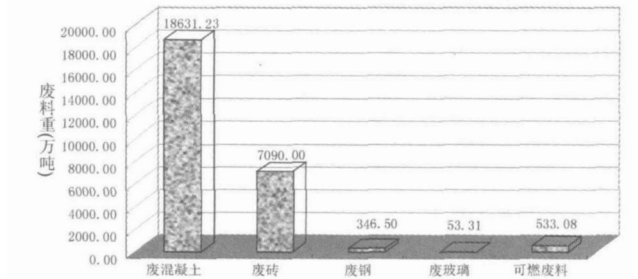


图 7 四川大地震产生建筑垃圾中各成分的量 (单位: 万吨)

另外, 本次四川汶川地震造成的公路损毁里程达到 34125 km, 以道路平均宽度 9 m, 路面板厚 0.24 m 计, 公路损毁产生的废混凝土约为 1.84 亿 t。加上前面所估计的房屋倒塌产生的 26654.12 万 t 建筑垃圾, 可得四川大地震产生的总的建筑物垃圾总量约为 4.51 亿 t。

同济大学学者肖建庄^[11]等根据国务院抗震救灾总指挥部报告指出的截至 2008 年 6 月 19 日 12 时在本次地震中损坏的房屋总量为 2434.3 万间, 以及根据住房和城乡建设部近日制定并发布的《地震灾区建筑垃圾处理技术导则》^[12]等信息, 推测得出的建筑垃圾总量为 4.97 亿 t。另据环境保护部网站消息, 重庆大学的一位研究人员依据这次地震损毁房屋的数字估计, 按平均每间 10 m², 每平方米产生 1 t 建筑垃圾计算, 由此产生的建筑垃圾约 3 亿 t^[13]。以上专家学者从不同角度对四川大地震产生的建筑垃圾总量进行估计, 得出的结果与本文估计相近, 说明应用遥感技术估算震后建筑垃圾具有一定的准确性。

3.5 借助遥感技术地震产生建筑垃圾量的估算流程

综上, 我们提出借助遥感技术估算震后建筑垃圾估算方法的流程如图 8 所示。

利用遥感技术能够快速、全面地得出地震影响区域以及震害情况, 提高震后估算效率。而常规的方法是到震区进行抽样调查然后进行统计, 一是费时费力; 二是如果灾区交通损毁无法通行, 将造成现场调查无法进行, 根本无从统计。所以应

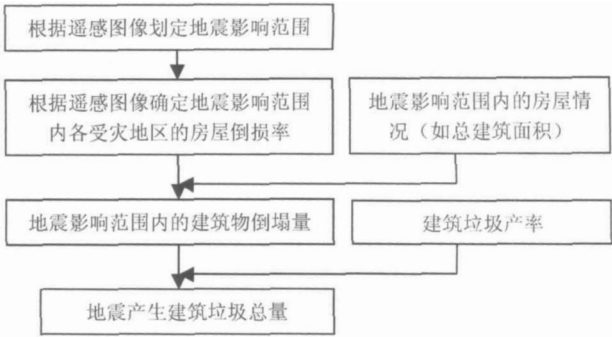


图 8 估算流程

用遥感技术进行灾后损失估算的方法值得大力推广。

4 结语

震后废墟量的评估是震后重建的基础, 是地震损失评估的一个重要组成部分。本文以四川汶川大地震为例, 借助如今日渐发展成熟的卫星遥感技术, 进行评估地震灾害产生的建筑垃圾总量的方法。估算过程和结果表明利用卫星遥感技术提供的各种信息不仅能够快速分析地震灾区的灾情, 对于灾情的定量描述能够做到全面、具体也较为准确。进行评估灾情时, 相比于传统费时费力, 甚至因为灾害造成交通设施瘫痪等因素造成无法进行的以现场调查为主进行抽样统计的方法, 利用遥感技术评估具有更高的可操作性和评估效率。可以预计, 遥感技术将越来越广泛地应用于地震以及其他灾害的灾后评估。

参考文献

[1] 尹之潜, 杨淑文. 地震损失分析与设防标准 [M]. 北京: 地震出版社, 2004. 2~120

[2] 国家地震震后防御司未来地震灾害损失预测研究组. 中国地震灾害损失预测研究 [M]. 北京: 地震出版社, 1993. 12~120

[3] 高庆华, 马宗晋, 张业成. 自然灾害评估 [M]. 北京: 气象出版社, 2007. 8~127

[4] Franklin Associates. Characterization of Building Related Construction and Demolition Debris in the United States [R]. EPA530-R-98-010. 1998. 51~61

[5] 陈军等. 拆毁建筑垃圾量的估算方法探讨 [J]. 环境卫生工程, 第 15 卷第 6 期, 2007. 1~4

[6] JianGuang Shi, YueZhou Xu. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China [J]. Resource Innovation and Recycling. 2007(50): 71~80

[7] 中国国家地理 [J]. 北京: 《中国国家地理》杂志社, 2008(572): 130~143

[8] 中国交通旅游图册 (新版) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2006. 87~89

[9] 《四川年鉴》[S]. 成都: 四川年鉴社, 2007. 318~452

[10] <http://www.nstdt.cn/index.asp>

[11] 肖建庄, 雷斌, 王长青. 汶川地震灾区建筑垃圾的资源化利用. 首届全国再生混凝土研究与应用学术交流会议论文集 [Q]. 上海: 同济大学出版社, 2008. 64~65

[12] 住房和城乡建设部. 地震灾区建筑垃圾处理技术导则 [S]. 2008

[13] <http://news.sohu.com/20080627/n257786722.shtml>